GEOPROCESSAMENTO E LOCALIZAÇÃO DE ATERROS NA REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA

Clarice Silvestre DOMINGOS [1]
Jader Onofre de MORAIS [2]

RESUMO

A produção de rejeitos é atualmente um dos maiores problemas mundiais e tende a se agravar devido ao crescimento populacional e ao tipo de sistema produtivo vigente. Calcula-se que três milhões de toneladas de lixo são geradas diariamente nas residências de todo o mundo, e que até 2025 este total deverá dobrar.

Propor formas de organizar o espaço de modo a minimizar os impactos ambientais negativos resultantes da forma como a sociedade está organizada é uma das tarefas da Geografia. Assim, este trabalho representa uma tentativa de contribuir para minorar um grave problema da sociedade urbano-industrial: a deposição do lixo por ela produzido. O objetivo é indicar as áreas propícias à instalação de aterros sanitários na Região Metropolitana de Fortaleza (R.M.F.), de forma que as agressões ambientais provocadas por este tipo de equipamento sejam reduzidas a patamares aceitáveis.

A R.M.F. possui atualmente três aterros sanitários, os quais trabalham de forma consorciada para receber os resíduos de toda região, mas que em poucos anos terão sua "vida útil" esgotada, fazendo-se necessária a construção de novos aterros. Ao tempo em que o preço do solo urbano aumenta, eleva-se também a quantidade de lixo e reduzem-se as áreas disponíveis para a deposição dos resíduos, uma vez que a região vem sofrendo um intenso processo de conurbação, diminuindo assim os vazios urbanos. Além disso, há ainda na área uma grande quantidade de ecossistemas frágeis, tais como campo de dunas, planícies fluviais e flúvio-marinhas, que contribuem para a escassez das áreas para instalação dos aterros. Isto porque os depósitos de lixo concentram impactos ambientais e econômicos de tal ordem que comprometem a qualidade de vida da população, devendo então ser construídos em áreas previamente estudadas, a fim de minimizar suas consequências negativas.

A multiplicidade de critérios a serem considerados ao se escolher uma área para aterro (geologia, declividade, hidrografia, hidrogeologia, distância dos núcleos urbanos, etc.) faz do geoprocessamento, em especial o Sistema de Informações Geográficas, um instrumento fundamental para a tomada de decisões, em virtude de sua capacidade de cruzamento de um grande número de informações, de sua rapidez e precisão.

Quando esses critérios são relegados a segundo plano, as consequências podem ser graves, como é o caso do "lixão" do Jangurussu, desativado desde 1998 em Fortaleza. Ainda hoje é um dos grandes problemas sócio-ambientais da capital cearense, uma vez que foi construído às margens do rio Cocó, onde despeja chorume (principalmente quando as chuvas são abundantes) sem qualquer tipo de monitoramento técnico ou tratamento, poluindo o rio, o mangue e o mar; incêndios são provocados pela combustão de gases e catadores de lixo, inclusive crianças, frequentam o local que fica próximo a várias residências.

O método utilizado neste trabalho foi a "exclusão progressiva", que consiste em identificar e excluir gradualmente as áreas que atendem às restrições legais e às especificações

[1] Universidade Estadual do Ceará, mestranda, clarice_silvestre@yahoo.com.br.
[2] Universidade Estadual do Ceará, Professor Doutor, jader@uece.br

técnicas pré-selecionadas para a construção de aterros. Depois de realizadas as exclusões, obtém-se um mapa com dois tipos de áreas: uma que irá nortear novos estudos a respeito dos locais candidatos à construção dos aterros, e outra área que está impossibilitada de receber tal equipamento urbano. É importante ressaltar que o presente estudo tem caráter preliminar, devendo ser seguido de estudos mais detalhados, incluindo trabalhos de campo.

INTRODUÇÃO

A acelerada transformação da natureza e a intensa produção de resíduos são temas de pesquisas e debates cada vez mais freqüentes no Brasil e no mundo. A preocupação com as conseqüências do desenvolvimento sobre o meio ambiente, embora antiga, expandiu-se sobretudo a partir dos anos setenta.

Em 1972, a Organização das Nações Unidas (ONU) realizou um grande encontro sobre o Ambiente Humano – a Conferência de Estocolmo. A "Declaração" resultante desta reunião reconheceu a todos os homens não só o direito a um meio ambiente que lhes permita uma existência digna, como a obrigação de protegê-lo e melhorá-lo para as gerações presentes e futuras. Em 1987, o texto denominado Nosso Futuro Comum, elaborado pela Comissão Brundtland, reafirmou e ampliou a idéia de desenvolvimento delineada pela Conferência de 1972; a partir de então, a expressão *desenvolvimento sustentável* tornou-se cada vez mais usual. Embora um tanto imprecisa, ela pressupõe um processo de desenvolvimento capaz de aliar crescimento econômico, justiça social e conservação da natureza. Na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada em 1992 no Rio de Janeiro (CNUMAD), 179 países aprovaram a Agenda 21, documento no qual se comprometeram a efetuar mudanças buscando melhorar a qualidade ambiental e promover maior justiça social. Entretanto, em Joanesburgo (2002), o balanço das realizações visando a cumprir as metas então estabelecidas indicou poucos progressos efetivos na direção desse novo desenvolvimento.

A ciência geográfica, ao estudar as relações entre as atividades econômicas, sociais e culturais e a dinâmica da natureza, tenta compreender a construção do espaço e organizá-lo de modo a reduzir ao mínimo os impactos ambientais negativos resultantes da forma como a sociedade encontra-se organizada. Assim, este trabalho representa uma tentativa de contribuir para minorar um grave problema da sociedade urbano-industrial: a deposição de seus rejeitos, ou seja, do lixo por ela produzido. Possui como objetivo indicar as áreas da Região Metropolitana de Fortaleza, cujas características reduzam ao mínimo a agressão ambiental provocada pela instalação de um aterro sanitário. Trata-se na realidade, de uma pré-seleção que leva em conta apenas o lixo que, segundo as leis brasileiras, está sob a responsabilidade das prefeituras municipais, ou seja, resíduos de origem residencial, comercial e pública em estado sólido e semi-sólido, conforme definição da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) – NBR 10.004.

Para a realização deste trabalho foi preciso reunir conhecimentos das ciências geográficas e cartográficas. Como o avanço da ciência nas últimas décadas resultou em um crescimento extraordinário do volume de informações oriundas das mais diversas áreas do saber, tornaram-se necessários a modernização e o aperfeiçoamento dos meios tecnológicos para acessar e manipular essas informações. Neste contexto, as modernas técnicas de geoprocessamento surgem como ferramentas indispensáveis para coleta, entrada, tratamento, armazenamento e análise de dados espacialmente referenciados, permitindo a ampliação e a dinamização dos estudos acerca da superfície terrestre. Na execução deste, foram usados o *Computer Aided Design* (CAD), o Sensoriamento Remoto e o Sistema de Informações Geográficas (SIG).

PRODUÇÃO E IMPACTOS CAUSADOS PELO LIXO

O lixo não é problema recente; a novidade é que hoje são cerca de 6,2 bilhões de pessoas produzindo rejeitos que, impulsionados pelo sistema produtivo, crescem e se diversificam num ritmo jamais visto. A promoção de um estilo de vida pautado no consumo e no desperdício é uma condição para que massas crescentes de lucro possam realizar-se, ou seja, é inerente ao desenvolvimento capitalista. Esse desenvolvimento, como assinala Andri Werner Stahel (1995), resulta não apenas em coisas úteis para os homens, mas também em efeitos indesejáveis como o esgotamento dos recursos naturais, lixo e poluição. Calcula-se que três milhões de toneladas de materiais indesejáveis são gerados diariamente nas residências de todo o mundo e que até 2025 este total deverá dobrar (CALDERONI, 2002, p. 119). No Brasil, a produção diária de lixo por pessoa varia de 400 a 700 gramas, podendo chegar a 1.200 gramas em algumas regiões (BARROS et al., 1991 apud GUIMARÃES, p. 14).

Direta ou indiretamente, o lixo causa doenças responsáveis por aproximadamente 5,2 milhões de óbitos por ano no mundo, especialmente entre crianças (op.cit.). As áreas destinadas aos depósitos de lixo são espaços que concentram diversos tipos de impactos sociais e ambientais. Caracterizam-se pela matéria em decomposição, pelo mau cheiro, por elementos tóxicos (mesmo em se tratando de áreas para depósito de lixo domiciliar e público), pela presença de animais transmissores das mais variadas doenças e pela produção de uma substância líquida de cor escura e mal cheirosa, o chorume ou sumeiro, proveniente dos processos de decomposição de materiais orgânicos.

No solo e nas águas, o chorume pode provocar alterações físico-químicas de tal ordem que os torna inapropriados ao uso humano ou a vida aquática, inadequados para cultivo, moradia etc. Nos períodos chuvosos, esse material é misturado à água e, além de aumentar consideravelmente de volume, ganha mobilidade, podendo rapidamente atingir longas distâncias (LIMA, 1995, p. 35). Além de chorume, os depósitos de lixo ainda produzem gases tóxicos como o metano, ácido sulfídrico e gás carbônico que, lançados na atmosfera, comprometem a boa qualidade do ar e conseqüentemente da vida.

Substâncias químicas são facilmente encontradas em meio ao lixo, podendo desencadear vários tipos de distúrbios nos seres humanos. Os aterros também favorecem a proliferação de vermes, fungos, vírus, bactérias, roedores e insetos, tornando-se centros irradiadores de enfermidades ao migrar para outras áreas.

Por todos os motivos acima citados, e pelo que reza o artigo 225 da Constituição, “Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida” é que se faz necessária uma escolha cautelosa a respeito da localização das áreas para instalação de aterros.

O ESTUDO GEOSSISTÊMICO NO PLANEJAMENTO URBANO

A vida em sociedade se desenvolve em um espaço biogeofísico que precede a existência humana em milhões de anos. Este espaço é formado por elementos bióticos (fauna e flora) e abióticos (clima, litologia, solos, relevo, hidrografia). Cada um desses elementos compõe o ecossistema global, nele possui um papel específico, estabelece relações de interdependência com os demais e se modifica com o tempo. No decorrer da evolução desse sistema de interdependência, surgiu a espécie humana.

A Geografia Física possui como objeto de estudo os sistemas homem-meio ambiente sob o ponto de vista das relações e processos espaciais. Assim, embora os geossistemas sejam fenômenos naturais, os fatores econômicos e sociais influenciam na sua estrutura e peculiaridades.

Por considerar a natureza formada por elementos interligados e interdependentes, a Geografia Física tem tido uma nova abordagem metodológica, a geossistêmica, derivada da Teoria Geral dos Sistemas de Bertalanffy. O conceito de geossistema é relativamente recente, sendo proposto na antiga União Soviética na década de 1960 pelo russo Sotchava, como uma forma de estudo de paisagens geográficas complexas. Para este autor, a Geografia Física, baseada nos estudos sistêmicos, "pode ocupar posições firmes na moderna geografia aplicada, apoiada no planejamento de desenvolvimento sócio-econômico do país, e sugerir medidas para o desenvolvimento e reconstrução de seus territórios". (Sotchava, 1977, p. 2).

O homem atua nos sistemas naturais estabelecendo uma infindável variedade de fatores de ordem sócio-econômica, que na verdade, constitui o verdadeiro motivo, ou pelo menos, o principal hoje em dia, que leva o geossistema a apresentar formas diferentes de evolução. Os fatores sócio-econômicos, bióticos e abióticos interpenetram-se e compõem um complexo mosaico de interações que vai constituir a organização espacial. Daí resulta a necessidade do estudo desta organização como um todo e não de seus elementos em separado.

Compreender o funcionamento e a dinâmica da natureza é o primeiro passo para a resolução dos problemas ambientais que a humanidade enfrenta. É impossível conhecer a natureza sem entender como ela é formada, quais os elementos constituintes, como atuam, de que maneira estabelecem laços de inter-relações e quais suas conseqüências.

De acordo com SOUZA (2000, p. 7), o "conhecimento e a análise dos sistemas naturais compõem a base da planificação do desenvolvimento que visa a criar melhores condições e bem-estar para os homens. A compatibilização das políticas de desenvolvimento econômico e as defesas e controle do ambiente constituem o caminho adequado para a promoção do desenvolvimento integrado e sustentado a longo prazo. Nessa perspectiva, a utilização racional do meio natural maximiza os impactos positivos oriundos de um meio organizado e minimiza a ação dos impactos negativos sobre os geossistemas."

Para viver e se reproduzir, o homem retira matéria e energia dos ecossistemas que, em princípio, possuem capacidade de se regenerar e repor aquilo que lhes foi extraído. Esse processo, chamado reciclagem natural, responde pela continuidade da vida no planeta e baseia-se fundamentalmente na captação, conversão, acumulação e transporte de energia; nos ciclos biogeoquímicos e hidrológico; na multiplicação, adaptação e evolução das espécies; e, finalmente, na interação entre todos os elementos constitutivos do sistema natural. Segundo Stahel (1995, p. 112), é através da reciclagem, que a "(...) biosfera como um todo assegura a sua sobrevivência pela busca constante da estabilidade e da manutenção de baixa entropia".[3] Na luta contra a entropia e na busca da estabilidade, "o tempo da biosfera é um tempo circular, dos ciclos circulares e da contínua reciclagem. As mudanças se dão apenas em face das mudanças exteriores à biosfera, buscando-se a partir de então um novo equilíbrio circular".

Como parte dos ecossistemas o homem necessariamente age sobre eles, transformando-os e sendo por eles transformado. O problema é que nas sociedades industriais estas interferências são tão extensas e profundas que modificam os ciclos biogeoquímicos alterando a capacidade de reciclagem natural e o funcionamento da biosfera. No capitalismo, o consumismo e, conseqüentemente a produção de rejeitos, é parte do funcionamento do sistema social, pois cada capitalista para ser competitivo precisa aumentar sua capacidade produtiva, ou seja, produzir cada vez mais em menos tempo. Nas sociedades tradicionais, a produção era baseada na busca da estabilidade e as mudanças nas formas de produzir e viver, sancionadas por valores culturais, religiosos e morais, ocorriam "a um ritmo compatível com o equilíbrio do sistema biosférico como um todo". No sistema capitalista, a produção é comandada pelo mercado e pela busca do lucro máximo,

[3] Entropia: medida de desordem de um sistema; quanto maior a entropia maior a desordem (Mini dicionário Aurélio, 2002).

rompendo este ciclo (op. cit.). Assim, ao mesmo tempo em que aumenta a eficiência na produção de coisas úteis, aumenta a produção de lixo e de poluição.

Apesar dos sistemas naturais possuirem tendência para a auto-regulação, esta tem se tornado cada vez mais difícil, uma vez que aqueles sofrem com a intervenção constante e permanente do homem. Os impactos ambientais e socioeconômicos que o lixo pode causar deixam claro que a localização de aterros deve ser precedida de cuidadoso estudo, a fim de evitar maiores danos à população e ao meio ambiente. Visando "proteger adequadamente as coleções hídricas superficiais e subterrâneas próximas, bem como os operadores dessas instalações e populações vizinhas", a NBR 13.896, (ABNT, junho de 1997), fixa as "condições mínimas exigíveis para projeto, implantação e operação de aterros de resíduos não perigosos".

Segundo esta norma, a localização de um aterro deve estar sujeita a restrições que minimizem seus impactos ambientais e maximizem a aceitação de sua instalação pela população, estar de acordo com o zoneamento da região, exigir tecnologias mais simples para o controle ambiental, possibilitar a maximização do tempo de vida útil e a minimização dos custos operacionais. Para cumprir tais objetivos, o local de construção de um aterro deve ser de fácil acesso, possuir declividade e geologia adequadas, distância mínima dos recursos hídricos e núcleos populacionais, vegetação que evite a erosão, formação de poeira e o transporte de odores. A necessidade de considerar diversas variáveis limita a disponibilidade das áreas adequadas para tal finalidade. Esse problema agrava-se nas regiões metropolitanas onde, paralelamente ao aumento dos resíduos, a população cresce e a conurbação se intensifica, diminuindo sensivelmente os vazios urbanos.

A complexidade que envolve a escolha das áreas para a implantação de um aterro sanitário requer o trabalho conjunto de geógrafos, engenheiros, geólogos, economistas, sociólogos etc. Em geral os profissionais trabalham por etapas, onde em um primeiro momento, as áreas tecnicamente inaceitáveis são excluídas para, em seguida, proceder-se à busca, entre as áreas aceitáveis, daquelas que minimizem os impactos sócio-ambientais e maximizem os ganhos econômicos. A multiplicidade de critérios a considerar e a grande quantidade de informações a serem coletadas, analisadas e cruzadas fazem do estudo geossistêmico, aliado às ferramentas do geoprocessamento, instrumentos fundamentais na tomada destas decisões para o planejamento urbano, pois permitem trabalhar com um grande número de informações que devem ser analisadas de maneira integrada, objetiva e com resultados rápidos e precisos.

A TÉCNICA DA EXCLUSÃO PROGRESSIVA

A Cartografia representa e nos ajuda a estudar e compreender como se dão a distribuição espacial dos fenômenos naturais e sociais, suas relações e suas transformações ao longo do tempo. Esta ciência contribui como instrumento de auxílio na identificação de áreas apropriadas e inapropriadas à localização espacial de equipamentos urbanos como aterros sanitários.

Para chegar à indicação das áreas que, do ponto de vista espacial, atendem às restrições legais e às especificações técnicas selecionadas, serão elaborados mapas temáticos, cujos cruzamentos resultarão em um mapa final com as áreas onde seja real a possibilidade de construção de aterros, de forma a minorar os danos à sociedade e ao meio ambiente.

Conforme o Manual de Gerenciamento Integrado – Lixo Municipal, produzido pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (2000), é conveniente que os estudos que precedem a escolha das áreas para depósito de resíduos sigam etapas que variam de acordo com a escala. Os estudos iniciais devem ser efetuados em escala regional e progredir para a escala local à medida que as áreas com maiores restrições vão sendo excluídas.

Este trabalho enquadra-se no primeiro nível de aproximação indicado pelo IPT. Foi realizada em gabinete, utilizando ferramentas de geoprocessamento, especialmente o SIG, a técnica da exclusão progressiva. Tal técnica consiste em identificar e excluir, gradualmente, todas as áreas da Região Metropolitana de Fortaleza com características consideradas inaceitáveis; depois de realizadas todas as exclusões, obtêm-se um mapa final que irá nortear os próximos estudos dos locais candidatos à construção dos depósitos.

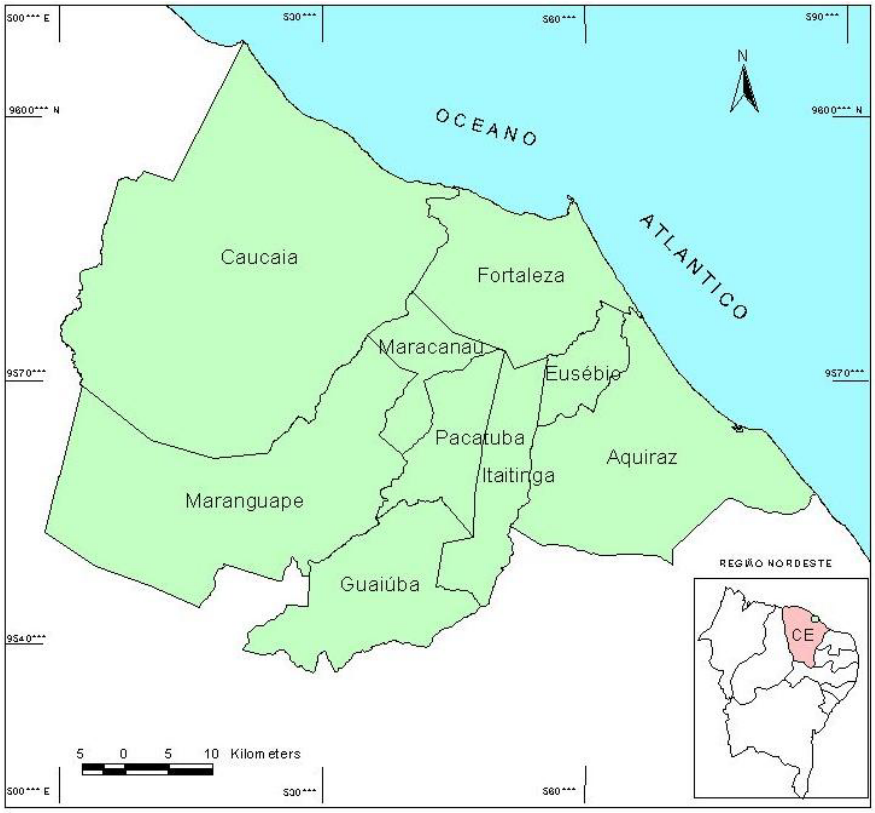

Figura 1. Figura de Localização da Região Metropolitana de Fortaleza.

Para a realização de um estudo mais aprofundado, seriam ainda necessárias outras duas etapas: um detalhamento utilizando a técnica da soma de fatores ponderados e avaliações de campo; apesar da importância dos estudos de laboratório, uma avaliação em campo das áreas selecionadas, realizada por um corpo multidisciplinar de profissionais como geólogos, geógrafos, engenheiros, é indispensável. Após esta avaliação, deve ser elaborado um relatório com os dados finais obtidos e a indicação da área com melhores características para a implantação do projeto.

Na elaboração deste trabalho, foram utilizados cinco critérios de modo a detectar as áreas impróprias à instalação de aterros sanitários: distância dos recursos hídricos, áreas inundáveis, unidades de conservação (campos de dunas, manguezais e mata ciliar), distância das vias de acesso e distância do centro atendido. Tais critérios foram estabelecidos a partir da NBR 13.896 “Aterros de resíduos não perigosos – critérios para projeto, implantação e operação” (ABNT, 1997); “Manual de gerenciamento integrado – Lixo municipal”, (Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2000) e do “Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final”, do Projeto PROSAB (Programa de Pesquisa em Saneamento Básico), editado pela ABES (Associação Brasileira de Engenharia Sanitária, 2001).

1. Distância do centro atendido:

De acordo com a NBR 13.896, a distância entre um aterro e a mancha urbana deve ser de no mínimo 500 metros. Um equipamento deste tipo atrai animais diversos, elementos

transmissores de doenças, causa impacto visual negativo e desvaloriza os terrenos que lhe são próximos. Ao mesmo tempo, o aumento da distância entre o centro produtor do lixo e o depósito eleva os custos de transporte e gerenciamento, o que implica a necessidade de uma combinação de todos estes aspectos. Neste trabalho, considera-se como ideal a sugestão contida no Manual de Gerenciamento Integrado – Lixo Municipal (IPT, 2000): distância máxima de 20 km.

2. Distância dos recursos hídricos:

Segundo a NBR 13.896, para evitar a contaminação da água, a distância entre um depósito de resíduos e um manancial hídrico não pode ser inferior a 200 metros. Esta distância atende também à Portaria n.º 124 de 20/08/80 do Ministério do Interior segundo a qual, "(...) quaisquer indústrias potencialmente poluidoras, bem como as construções ou estruturas que armazenam substâncias capazes de causar poluição hídrica, devem ficar a uma distância mínima de 200 metros de coleções hídricas ou cursos d'água mais próximos" (apud GOMES, 2001, p. 151).

3. Áreas inundáveis:

As áreas inundáveis são ambientes de transição entre ambientes terrestres e aquáticos. J. M. L. Domingues (apud SINFOR, 1995, p. 62) define como áreas inundáveis àquelas que são "inundadas ou saturadas por água superficial ou subterrânea, numa freqüência e duração suficientes para dar suporte a uma vegetação tipicamente adaptada à vida em condições saturadas". Essas áreas desempenham importantes funções ambientais, tanto do ponto de vista biológico quanto físico. Nelas se reproduzem, alimentam, descansam ou vivem diversas espécies de aves aquáticas, peixes, crustáceos e moluscos. Essas áreas também contribuem para a redução das inundações, pois, ao reterem as águas das chuvas, funcionam como tampões hidrológicos para reservatórios subterrâneos, etc. Na Região Metropolitana de Fortaleza essas áreas são bem representadas pelos mangues e pelas planícies fluviais.

4. Unidades de Preservação e Conservação:

As Áreas Especiais de Proteção, Unidades de Conservação e aquelas que por qualquer razão encontram-se protegidas por legislação federal, estadual ou municipal devem, de imediato, ser excluídas no processo de pré-seleção de locais para instalação de aterros. Por essa razão, foram descartadas as áreas de manguezais, os campos de dunas (móveis, semifixas e fixas), a mata ciliar, em conformidade com o artigo 2º da Lei n.º 4.771 de 15 de setembro de 1965, que instituiu o Novo Código Florestal Brasileiro.

Os manguezais, são ecossistemas complexos e frágeis, de extrema importância para o meio ambiente e susceptíveis a profundas alterações em suas características quando submetidos à ocupação e exploração dos seus recursos. São as áreas úmidas de maior significância na Região Metropolitana de Fortaleza, onde se destacam aqueles associados aos rios Ceará, Cocó e Pacoti.

As dunas e paleo-dunas[4] são unidades geológicas de grande instabilidade, potencialidade aqüífera e permeabilidade, e apesar de possuírem composição litológica diferentes (as recentes são essencialmente arenosas, enquanto as antigas possuem participação de fases siltosas a argilo-siltosas), possuem comportamento hidrodinâmico similar. De acordo com GUIMARÃES (2002), quando os resíduos são depositados sobre materiais permeáveis, a migração do chorume pode facilmente produzir contaminação das águas subterrâneas e provocar danos em áreas muito maiores do que aquela por eles ocupada. A autora observa que a infiltração do chorume em terreno arenoso ocorre com velocidade um milhão de vezes superior àquela que se verifica em terreno argiloso. Por conseguinte, as dunas e a vegetação que as protege contra os efeitos dos ventos e mantém o equilíbrio desses

4 Foi excluída também a faixa de praia, uma vez que a constituição geológica é semelhante às dunas e a proximidade com o mar é evidente.

ambientes devem ser conservadas ao máximo e constituem uma limitação à presença dos aterros.

Quanto às matas ciliar e lacustre, estas são essenciais à preservação dos recursos hídricos e, por esta razão, consideradas de preservação permanente pelo Código Florestal Brasileiro e Reserva Ecológica pela Resolução 004/CONAMA/1985. A Lei 4.771, em seu artigo 2°, considera de preservação permanente as florestas e demais formas de vegetação natural situadas ao longo dos rios ou quaisquer cursos d'água; ao redor de lagoas, lagos e reservatórios naturais ou não; e, nas nascentes e "olhos d'água". A largura da faixa de preservação ao longo dos cursos d'água é calculada conforme a largura dos mananciais, enquanto para as lagoas, lagos ou reservatórios naturais e artificiais situados em áreas urbanas, considera-se reserva ecológica uma faixa marginal de 30 metros ao redor dos corpos hídricos. Neste trabalho considera-se vegetação de preservação aquela situada numa faixa de 200 metros de largura ao longo dos cursos d'água. Os espelhos d'água situados em zona urbana não foram levados em consideração, uma vez que já é necessária uma distância mínima de 500 metros entre o aterro e a área urbana.

5. Distância de vias de acesso:

A localização de um depósito de resíduos deve ser de fácil acesso, já que as estradas serão utilizadas diariamente durante toda a vida útil do equipamento. Entretanto, conforme recomendação da NBR, deve-se observar uma distância superior a 100 metros de rodovias estaduais e federais. Assim, evita-se os transtornos causados pelo intenso tráfego de caminhões de lixo, de material com solo para as camadas das trincheiras e o perigo dos animais que, em busca do lixo, podem causar acidentes nas rodovias.

Tabela 1. Critérios para pré-seleção de áreas para aterros.

CRITÉRIOS	FAIXA DE AVALIAÇÃO
1. Distância do centro atendido	> 500 m* < 20 km**
2. Distância dos espelhos d'água*	> 200 m
3. Áreas inundáveis*	Mangues, planícies fluviais e lacustres.
4. Unidades de Conservação de correlatas **	APAs, campo de dunas, manguezais, etc.
5. Distância de vias de acesso***	> 100 m

* NBR 13.896
** Manual de Gerenciamento Integrado – Lixo Municipal, p. 272
*** Resíduos Sólidos do Saneamento: Processamento, Reciclagem e Disposição Final, p. 151 e 154.

PROCEDIMENTOS METOLÓGICOS E MATERIAIS

Com o avanço das tecnologias da computação, tecnologias de informação e próprio conhecimento cartográfico, as modernas técnicas de geoprocessamento surgem como ferramentas indispensáveis para coleta, entrada, tratamento, armazenamento e análise de dados espacialmente referenciados, permitindo a ampliação e a dinamização dos estudos acerca da superfície terrestre. Entre as ferramentas necessárias para a confecção das cartas deste trabalho, encontram-se as técnicas de Sensoriamento Remoto, o CAD (*Computer Aided Design*) e o SIG (Sistema de Informações Geográficas).

Sensoriamento Remoto é a tecnologia que permite a obtenção de informações dos recursos naturais por meio de sensores implantados em plataformas aéreas ou orbitais, os quais são capazes de captar a energia emitida ou refletida por objetos da superfície terrestre, e transformá-las em imagem no formato digital, como fotografias aéreas ou imagens de satélite. As técnicas de sensoriamento remoto evoluíram enormemente com o lançamento de novos sensores. Atualmente, é quase impossível um estudo geográfico, sobretudo no campo dos geossistemas, que não use essa tecnologia.

Como fonte para a base de dados deste trabalho, foram utilizadas imagens dos sensores conduzidos pelos satélites LANDSAT 7 ETM+ e SPOT 5, com resoluções espaciais de 15m

e 5m metros, respectivamente. Com relação às imagens do LANDSAT 7 ETM+, foram utilizadas as bandas 3, 4 e 5, todas na faixa do visível[5]. A imagem sintética colorida foi produzida através da composição RGB 5 4 3. Já para as imagens do satélite SPOT 5, foram utilizadas as bandas 1, 2 e 3, também na faixa visível do espectro eletromagnético, com composição colorida RGB 2 1 3.

Foram realizados alguns processamentos digitais nas imagens, como o realce de contraste, a classificação e a filtragem, de maneira a facilitar a identificação e a extração de informações contidas na imagem.

Com a classificação automática das imagens de satélites foram definidas 4 classes, representando as áreas de manguezais, dunas, matas ciliares e mancha urbana, que atendiam aos interesses do projeto. A partir dos resultados da classificação, foi realizada a conversão do material raster para vetor, em *software* de CAD, para fazer a extração das feições/temas de interesse, como as áreas ocupadas por mangues, matas ciliares, praias, campos de dunas e manchas urbanas, que correspondem às Unidades de Conservação na área objeto.

Após a extração das feições dos temas relevante para o trabalho, por meio da interpretação das imagens, e outras informações pertinentes pré-existentes (como os limites municipais, sistema viário e rede hidrográfica, que foram coletadas em cartas topográficas digitais na escala de 1:100.000), estas foram exportadas para ambiente SIG para a produção dos mapas temáticos previstos para o trabalho.

O SIG consiste em um sistema de informação baseado em computador, o qual permite capturar, armazenar, manipular, analisar e exibir dados referenciados espacialmente, associados a um banco de dados, de forma a solucionar ou ajudar na busca de soluções de diversos tipos de problemas. Cada tema é associado a uma tabela de um banco de dados, onde cada entidade é representada por uma linha e seus atributos são representados por colunas. O estabelecimento dessa relação entre as entidades do modelo de dados e seus atributos permite a geração de consultas para a produção de mapas temáticos e relatórios.

São duas as formas de consultas de dados em um SIG: por atributo e análise espacial. A consulta por atributos refere-se aos valores dos atributos descritivos das feições do mundo real armazenados no banco de dados do sistema, enquanto as análises espaciais, envolvem relacionamentos espaciais entre os objetos selecionados. Este tipo de procedimento foi intensamente utilizado neste trabalho, por meio da confecção de áreas de influência, fusão e dissolução de temas. Foram utilizados dois tipos de entidades gráficas para produzir as feições/temas: o polígono, para representar as áreas de manchas urbanas, mangues, matas ciliares e dunas; e a linha, para representar a malha rodoviária e rede hidrográfica.

A primeira análise espacial realizada foi a criação de áreas de influência para as manchas urbanas, hidrografia e rodovia, conforme os critérios, normas e leis já mencionados. Assim, para as zonas urbanas foram geradas duas consultas espaciais para produção de áreas de influência, uma correspondente à distância de 500m dos perímetros urbanos e outra para a distância máxima de 20km. Ao longo das feições lineares que representam o sistema viário foram geradas áreas de influência de 100m. Finalmente, para a hidrografia, as áreas de influência geradas foram de 200m.

[5] A imagem do visível é resultado da reflexão da radiação solar pelas nuvens e pela superfície terrestre.

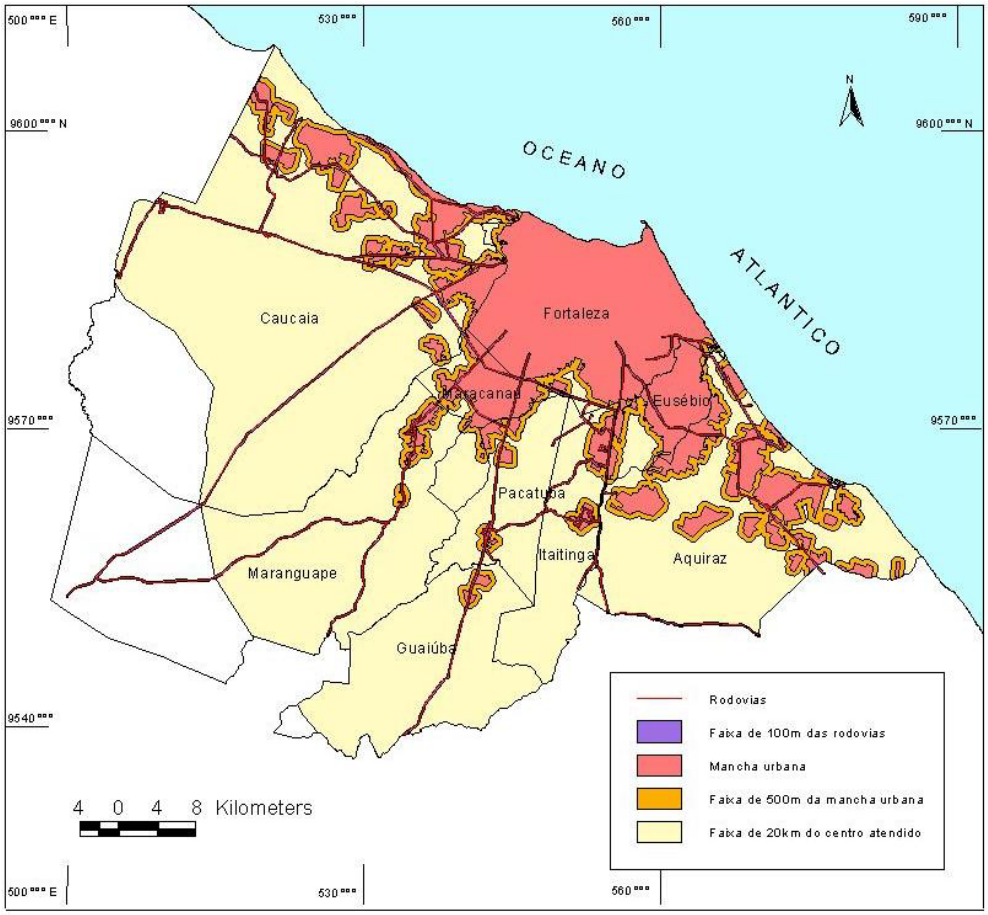

Figura 2. Manchas urbanas, malha rodoviária e suas áreas de influência.

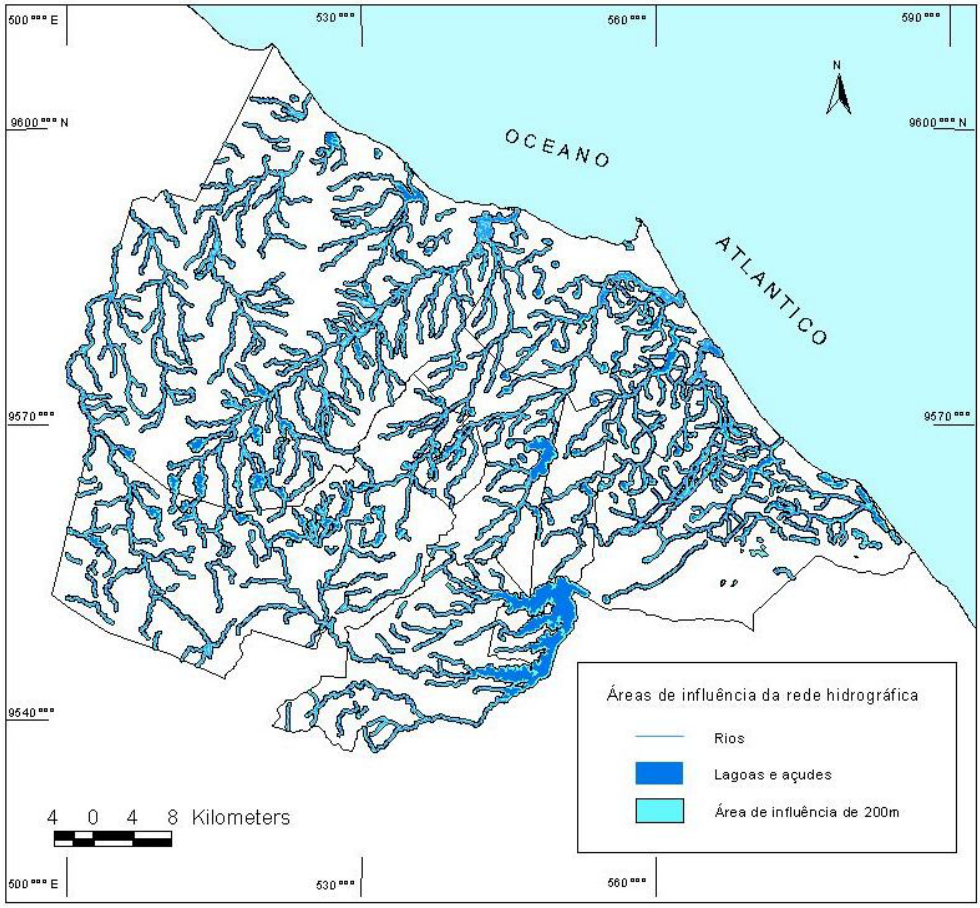

Figura 3. Rede hidrográfica e suas áreas de influência.

Outra análise espacial realizada foi a fusão, que cria um novo tema a partir de um ou mais temas originais, desde que tenham o mesmo tipo de entidade (polígono, como é o caso deste trabalho). Após a construção dos novos temas correspondentes às áreas de influência da hidrografia, manchas urbanas e rodovias, foi realizada a fusão destes com as Unidades de Conservação.

Após a realização da fusão dos temas, foi necessário fazer o procedimento de dissolução para produzir o tema resultante. Esta consiste na remoção dos limites dos polígonos adjacentes que possuem mesmo valores de atributos, deixados no momento em que foi feita a fusão dos temas.

Realizadas as operações de fusão e dissolução, obtém-se um único polígono, representando toda a área onde existem restrições para a implementação de aterros sanitários. Por sua vez, este polígono ainda sofreu uma última fusão com o polígono da Região Metropolitana de Fortaleza, tendo como resultado um último mapa com dois tipos de áreas: uma preliminarmente inadequada e outra provisoriamente adequada, de acordo com este um primeiro nível de aproximação, para a construção dos aterros sanitários.

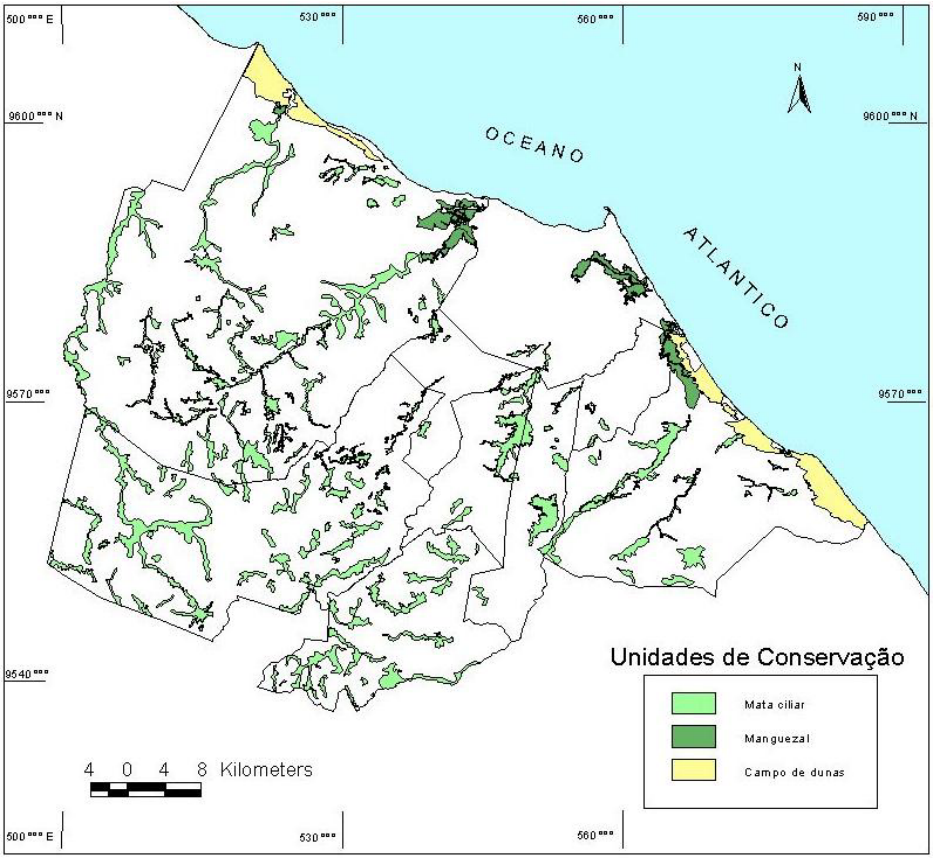

Figura 4. Manguezal, mata ciliar e campo de dunas.

RESULTADOS

A escolha da área destinada à implantação de aterros sanitários deve ser calcada em princípios e conceitos que levem em conta os problemas sócio-ambientais causados pela geração de lixo. Para tanto, como instrumento para a produção de informações georreferenciadas precisas e consistentes, foram utilizadas as tecnologias do geoprocessamento. Dentre todas as ferramentas destaca-se a Cartografia, a qual representa e estuda a distribuição espacial dos fenômenos naturais e sociais, suas relações e suas transformações ao longo do tempo. Esta ciência pode contribuir como instrumento de

auxílio na identificação de áreas apropriadas e inapropriadas à localização espacial de equipamentos urbanos como aterros sanitários.

Por outro lado, o SIG - Sistema de Informações Geográficas, é técnica de comprovada eficiência face à sua capacidade de armazenamento de grande quantidade de dados para a produção de informações georeferenciadas. Neste trabalho foram realizadas análises espaciais por meio de cruzamentos de informações, adotando como critérios as áreas caracterizadas como inadequadas à instalação de aterros sanitários, consoante as normas da ABNT e legislação federal.

Outra geotecnologia que merece destaque pela sua importância para a geração de informações, é o Sensoriamento Remoto, utilizada neste trabalho para a classificação das imagens de satélites e extração de informações.

Os estudos realizados com os produtos gerados pelas geotecnologias utilizadas permitiram concluir que, para o caso da Microrregião de Fortaleza, a acelerada expansão urbana e a existência de áreas com ecossistemas frágeis reduzem, consideravelmente, os locais destinados a este tipo de equipamento.

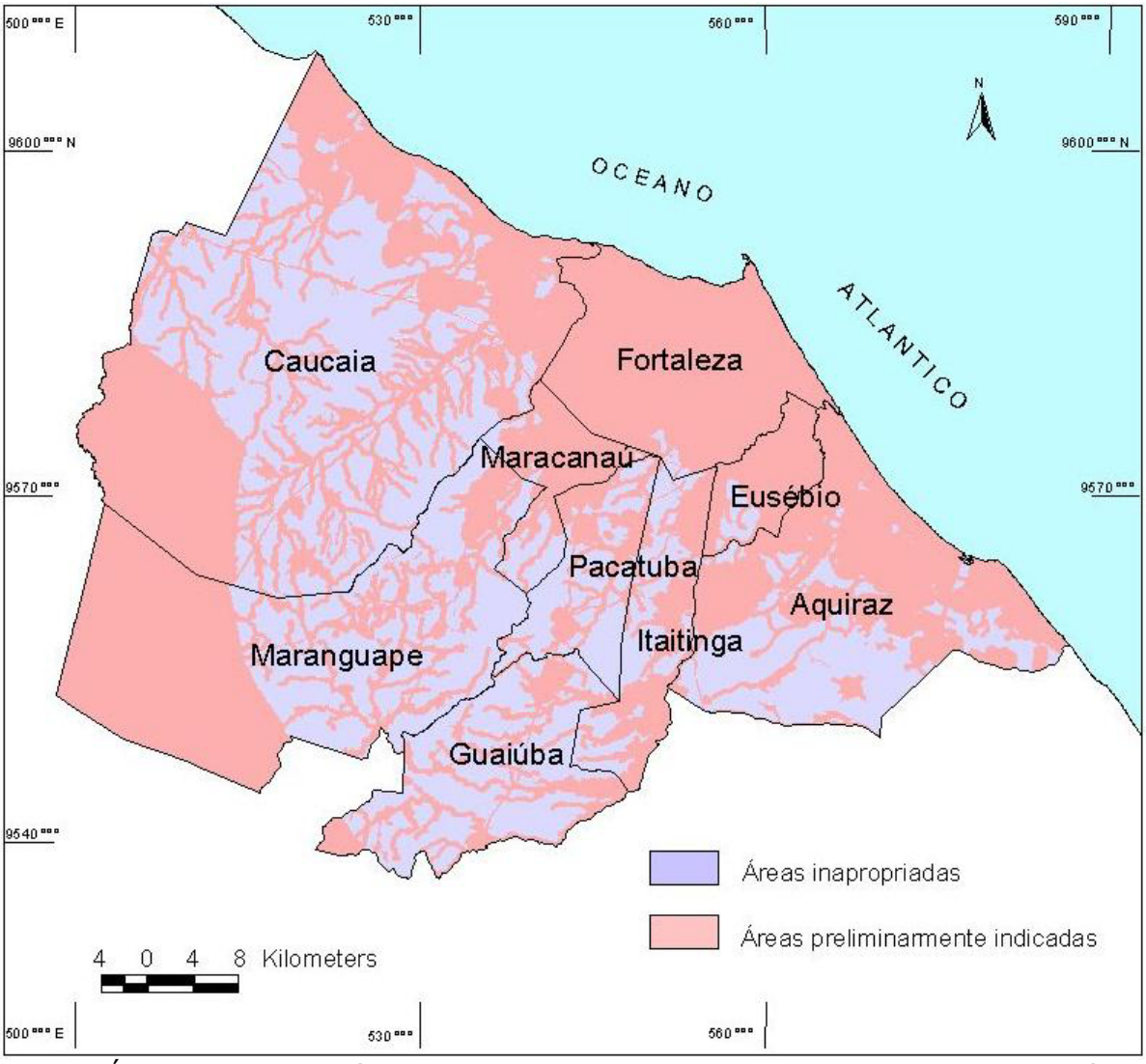

Figura 5. Áreas inadequadas e áreas preliminarmente indicadas para instalação de aterros sanitários.

O mapa temático, produto final desse trabalho, representa cartograficamente a área objeto do estudo em duas classes, de acordo com uma primeira aproximação: 1) áreas com

restrições à implantação de aterros; 2) áreas preliminarmente sem restrições[6] à implantação de aterros sanitários. A primeira conclusão que se pode tirar, diz respeito à distribuição quantitativa de áreas disponíveis, onde apenas 1.302,87 km² podem ser utilizadas, sendo que a área correspondente a toda Microrregião de Fortaleza é 3.370,37 km² . Traduzindo os números quantitativos em percentuais, significa afirmar que 61,34% de toda Região Metropolitana de Fortaleza pertence à classe rejeitada para este tipo de função, número este que fatalmente irá crescer cada vez mais, seja devido ao estudo mais detalhado da área, seja pela acelerada ocupação urbana.

A maior concentração de áreas inapropriadas está relacionada ao município de Fortaleza, uma vez que é considerado 100% urbanizado. Por outro lado, observa-se uma forte tendência à expansão urbana, principalmente em direção ao litoral, onde a conurbação com cidades dos municípios Eusébio e Aquiraz é mais marcante. As áreas localizadas ao longo do litoral, onde se concentram ecossistemas frágeis como manguezais, dunas e paleo-dunas são, naturalmente, áreas com sérias restrições de uso, identificadas em uma grande área contínua, no litoral oeste de Caucaia.

Na região sudoeste da Microrregião de Fortaleza, uma grande faixa contínua de áreas inapropriadas, localizadas nos municípios de Caucaia, Maranguape e uma pequena parte de Guaiúba, chamam a atenção. Essas áreas encontram-se desta maneira classificadas, em virtude da distância preconizada, com limite máximo de distância (20 km) da zona urbana, o que as tornariam economicamente inviáveis, já que demandariam gastos muito altos com combustível para o transporte dos resíduos. Itaitinga também encontra-se bastante comprometida por estar ocupada, tanto com áreas urbanas como pelo Açude Pacotí.

Portanto, ficam evidentes as facilidades para a produção de informações georreferenciadas, precisas e consistentes para gerenciamento do espaço. Entretanto, estudos mais profundos podem e devem ser realizados, adotando os critérios de fundamental importância: profundidade do lençol freático, geologia, e outros, que aqui não poderiam ser abordados, face à natureza deste trabalho.

Após a presente explanação, fica claro que as ferramentas de geotecnologias poupam tempo e dinheiro, uma vez que as informações produzidas já apresentam as áreas destinadas à Avaliação de Impactos Ambientais.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, Flávio Simas de. **Uso de sistema de informações geográficas na identificação de áreas potenciais para a instalação de aterros sanitários do Distrito Federal**. Disponível em: <http://www2.ibama.gov.br/~rebramar/docs/gisbra/gisbra2000.htm> Acesso em: 17/02/2004

ASTEF/UFC. *Relatório de impacto ambiental* – aterro sanitário Oeste. Fortaleza: Autarquia da Região Metropolitana de Fortaleza, 1989 a, 74 p.

ASTEF/UFC. *Relatório de impacto ambiental* – aterro sanitário Sul. Fortaleza: Autarquia da Região Metropolitana de Fortaleza, 1989 b, 82 p.

AZEVEDO NETTO, José Martiniano de. BOTELHO, Manoel Henrique Campos. **Manual de saneamento de cidades e edificações**. São Paulo: Pini, 1991. 229p.

BRANDÃO, Ricardo Lima. **Sistema de informações para a gestão e administração territorial da Região Metropolitana de Fortaleza – Projeto SINFOR: Diagnóstico ecoambiental e os principais problemas de ocupação do meio físico da Região Metropolitana de Fortaleza**. Fortaleza: CPRM, 1995, 88 p.

BRASIL, Constituição Federal. Coletânea de Legislação de Direito Ambiental. Odete Medanar (org.). São Paulo: Editora Revista dos Tribunais, 2002. (RT – mini-códigos). Atualizada até 08.01.2002. 766 p.

[6] É importante lembrar que ainda existem outras normas que devem ser levadas em conta, na continuação deste trabalho.

CALDERONI, Sebatai. O desperdício do lixo. IN: III SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE DIREITO AMBIENTAL. Conselho da Justiça Federal, Centro de Estudos Judiciários. Brasília: CJF, 2002, 232p.

CAMPOS, Jayme de Oliveira. Resíduos industriais: um olhar no futuro. IN: CAMPOS, Jayme de Oliveira de, BRAGA, Roberto e CARVALHO, Pompeu Figueiredo de. **Manejo de resíduos – Pressupostos para a gestão ambiental**. Rio Claro: DEPLAN/ IGC/UNESP, 2002.

CAVALCANTI, Clóvis (org.). **Desenvolvimento e natureza – estudos para uma sociedade sustentável**. São Paulo: Cortez; Recife: Fundação Joaquim Nabuco, 1995. 429 p.

CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO: Agenda 21. 3ª ed. Brasília: Senado Federal, Subsecretaria de Edições Técnicas, 2000, 598 p.

D'ALMEIDA, Maria Luiza, VILHENA, Otero André (coord.) **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado**. 2ª ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000.

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO. São Paulo: EPUSP, 1990, 352 p.

Fundação Estadual do Meio Ambiente/FEAM. **Como destinar os resíduos sólidos urbanos**. Belo Horizonte: FEAM, 2002. 45 p. (Série Manual; nº1).

GOMES, Luciana Paulo; COELHO, Osmar Wöhl; ERBA, Diego Alfonso; VERONEZ, Maurício. Critérios para seleção de áreas para disposição final de resíduos sólidos. IN: ANDREOLI, Cléverson Vitório (coord.). **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro: RiMa, ABES, 2001.

GUIMARÃES, Lucy Teixeira. **Utilização do Sistema de Informação Geográfica (SIG) para identificação de áreas potenciais para disposição de resíduos na Bacia do Paquequer, município de Teresópolis – RJ.** Dissertação (mestrado em Engenharia Civil), COPPE/UFRJ, 2000. Disponível em: <http://www.labgis.uerj.br/publicacoes/lucy/index.htm> Acesso em: 12.12.2004.

LANDSAT ETM 7. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1999. Imagem de Satélite, orbitais 217-62, 217-63 e 216-63, bandas 3, 4, 5 e pancromática. Escala 1:50.000.

LIMA, Luiz Mário Queiroz**. Lixo – Tratamento e biorremediação**. 3ª ed. São Paulo: Hemus, 1998, 260 p.

NBR 10004: Resíduos Sólidos. Setembro de 1987.

NBR 13896: Aterros de resíduos não perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação. Junho de 1997.

SILVA, Elizete Américo. **Os resíduos sólidos nos bairros da Costa Oeste de Fortaleza (Pirambu e Cristo Redentor): Uma análise a Partir do Projeto Sanear**. Fortaleza: UFC, 2003. Monografia de conclusão de curso (Geografia), Universidade Federal do Ceará, 2003. 71 p.

SOTCHAVA, V. B. O estudo de Geossistemas. In: **Métodos em Questão**. N° 16, IG/USP, São Paulo, 1977.

SOUZA, Marcos José Nogueira de. Bases Naturais e Esboço do Zoneamento Geoambiental do Estado do Ceará. IN: LIMA, Luiz Cruz. MORAIS, Jader Onofre de. Souza, Marcos J. N. de. **Compartimentação Territorial e Gestão Regional do Ceará.** Fortaleza: EDUECE, 2000.

SPOSITO, Maria Encarnação de. **Capitalismo e urbanização: núcleos urbanos na história da revolução industrial e urbanização**. 5ª ed. São Paulo: Contexto, 1994, 80 p.

STAHEL, Andri Werner. Capitalismo e entropia: os aspectos ideológicos de uma contradição e a busca de alternativas sustentáveis. IN: CAVALCANTI, Clóvis (org.). **Desenvolvimento e Natureza – estudos para uma sociedade sustentável**. São Paulo: Cortez; Recife: Fundação Joaquim Nabuco, 1995. 429 p.